

PATOLOGIAS EM EDIFICAÇÕES ESTRUTURADAS E CONCRETO ARMADO COM CONSEQUÊNCIAS DE COLAPSO

José Roberto Hoffmann
Engenheiro Civil
Mestre em Engenharia Civil

PATOLOGIAS EM EDIFICAÇÕES ESTRUTURADAS E CONCRETO ARMADO COM CONSEQUÊNCIAS DE COLAPSO

José Roberto Hoffmann
Engenheiro Civil
Mestre em Engenharia Civil
Conselheiro do CREA-PR – Representando o CEAL

RESUMO: Este trabalho tem por objetivo de divulgar para o segmento profissional de Engenharia e Arquitetura o assunto de patologias em estruturas de concreto armado, destacando os elementos estruturais pilares de edifício de múltiplos pavimentos. A parcela alvo da Comunidade Profissional, da abordagem deste assunto, é aquela não diretamente ligada ao tema, mas em função das suas atividades específicas podem ser alertadas sobre as origens destas patologias e como evitá-las ou tratá-las.

1– CONSIDERAÇÕES GERAIS

Estruturas de concreto armado de edifícios de múltiplos pavimentos merecem atenção especial de programas de manutenção, por mais simples que estes possam ser. Como exemplo paralelo, mais comum de um programa de manutenção, pode-se citar aquele que estabelece procedimentos preventivos de vistoria dos elevadores verticais de edifícios. Aceita-se como necessários e importantes os gastos com esta manutenção, pois a preocupação com a possibilidade que um elevador venha falhar e cair, é grande. No entanto, com a estrutura do edifício, já não se tem a mesma preocupação, considerando a sua condição estática e o aparente aspecto de solidez do conjunto estrutura e paredes.

2– SANIDADE DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

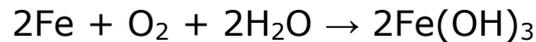
De uma forma geral as estruturas de concreto armado dos edifícios de múltiplos pavimentos são compostas por lajes, vigas (embutidas, aparentes ou reticuladas) e pilares. Se fosse necessário estabelecer graus de importância envolvendo os três elementos retro citados, certamente ter-se-ia que atribuir aos pilares o maior grau, em função das consequências que se pode ter com a edificação, caso um dos seus pilares vier a falhar na sua função de sustentar as cargas de um pavimento e de transmiti-la para os pilares do pavimento inferior e assim sucessivamente, até os elementos de fundação.

A sanidade dos elementos pilares caracteriza-se pela sua garantia das seções transversais de concreto e aço, pela sua garantia da resistência mecânica do concreto e aço associados, pelas suas respectivas vinculações aos demais elementos estruturais e pela sua sustentação final nos elementos de fundação. Finalmente a garantia geral da fidelidade da execução de acordo como o projeto estrutural com as características geométricas dos elementos estruturais, combinadas com funcionamentos garantidos no que se costuma chamar de concepção estrutural.

3- CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS E DA EXECUÇÃO

3.1- Material Aço

A liga que compõem o material aço tem como componente principal o minério de Ferro (Fe). Em princípio o minério ferro se submetido a presença de umidade (H_2O), sofre a seguinte reação química:



O hidróxido de ferro resultante da reação química que ocorre em uma barra de aço submetida à presença de umidade é comumente chama de “ferrugem”. Tecnicamente o fenômeno é denominado oxidação, que é considerado a origem da instalação de um processo patológico no aço e, por extensão, na peça estrutural em que este esteja inserido.

Outro tipo de fenômeno que pode ocorrer com o aço é a corrosão eletrolítica. E neste caso a reação química que ocorre é aquela que está caracterizada na Figura 1 abaixo.

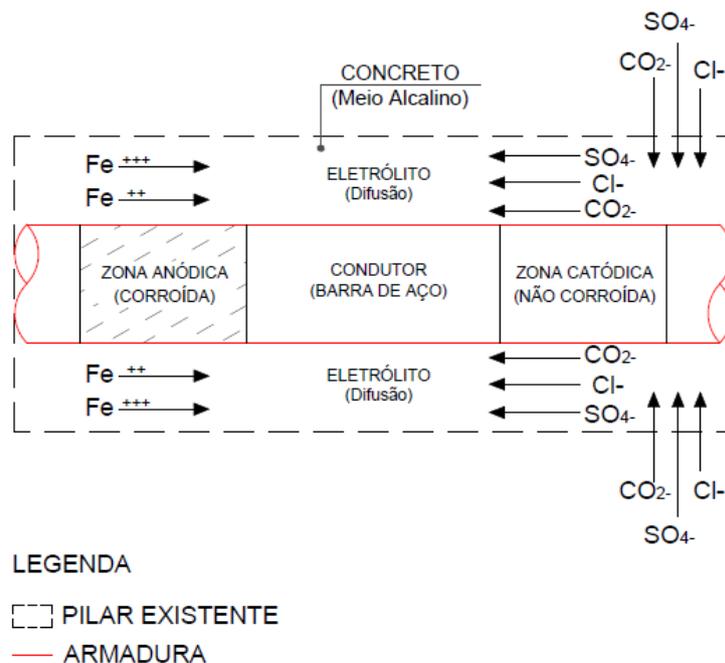


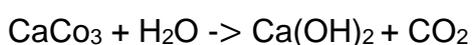
Figura 1

Na Figura1 os agentes externos podem ser o cloro, gás carbônico ou os sulfatos, que são elementos basicamente carregados eletricamente com elétrons negativos (-). No minério Ferro, estas cargas são positivas (+). Desta forma cria-se uma bipolaridade entre os trechos. Considerando o meio alcalino característico do material concreto, possibilita-se que sejam criados ao longo do vergalhão, trechos catódicos, que libera eletrons em direção aos trechos anódicos. Este processo possibilita o surgimento de trechos corroídos e trechos não corroídos para a barra de aço imerso no material concreto, reduzindo a seção transversal da barra de aço, devido a um fenômeno denominado de oxirredução ou simplesmente corrosão de armaduras.

3.2– Material Concreto

O concreto é um material resultado de uma mistura de cimento, agregado (brita graduada + areia) e água. A mistura proporciona uma reação química do cimento com a presença de água, provocando uma alteração no estado físico da massa resultante, de moldável para sólida. Na construção este processo é chamado de “cura”.

As proporções entre os elementos envolvidos na mistura para obtenção do concreto é denominado de “traço”. Esta proporção é estabelecida em volume e traduzida por indicações do tipo 1: 2: 3, 1: 1,5: 3, etc. Nesta tríade de números, o primeiro é o volume de uma saca de cimento (50 kg), o segundo é o volume de areia e o terceiro é o volume de brita, e estes volumes em conjunto com o volume de água compõem o traço do concreto. A reação química que ocorre é representada pela seguinte reação química.



a) Caracterização do Meio

O meio caracterizado pelo concreto endurecido é extremamente alcalino, propiciando a situação de criar parcelas desta massa passível do fenômeno de carbonatação, quando submetido por exemplo, à presença de gás carbônico. Na Figura 1 deste trabalho pode-se constatar o funcionamento da instalação de um processo de corrosão eletrolítica de armaduras (oxirredução).

b) Desempenho do Concreto

As características de qualidade do material concreto, juntas compõem o que se denomina desempenho, onde a resistência é apenas uma de suas características. Em outros tempos a resistência era a única exigência que se fazia para o comportamento do material. Até hoje, ainda compra-se concreto analisando como único parâmetro a sua resistência. Talvez esta cultura ainda exista, em função do forte vínculo que existe entre a resistência com as outras necessárias qualidades do material, que compõem no conjunto, o desempenho do material. Permeabilidade, durabilidade e módulo de resistência (deformabilidade) são outras características que estabelecem a qualidade do material concreto.

c) O Fator Água – Cimento

A quantidade de água utilizada na fabricação do concreto é estabelecida pelo seu fator água-cimento, que compõem juntamente com os volumes de cimento e agregados, o traço do concreto. O volume de água utilizado é importantíssimo para um bom desempenho do material concreto fabricado. A água é o reagente para o cimento, que ao reagir utiliza parcela da água que é utilizada, eliminando o restante sob forma de vapor, para o meio ambiente, tornando-se uma massa inicialmente moldável, até um tempo aproximado de uma hora, iniciando após isto um processo de cura (endurecimento). Em condições normais de temperatura e umidade, o material concreto atinge cerca de 95% de sua resistência máxima aos 28 dias de idade.

Cada traço tem um fator água-cimento adequado. Na necessidade de um concreto mais plástico (fluido), mais água será necessária ser adicionada à massa. Para manter o fator água-cimento estabelecido no traço, é necessário utilizar mais cimento.

d) Aditivos

Com a evolução da indústria química e a melhora dos processos de controle tecnológico do concreto, é possível alterar as características e a composição da argamassa do concreto, com a melhora do seu desempenho. As características podem ser alteradas mediante a utilização de aditivos. Estes aditivos podem alterar o tempo de cura, acelerando ou retardando o início da “pega” (início do processo de cura/endurecimento). Dentre os aditivos mais importantes, não por isto menos perigosos, se não forem utilizados com prudência, estão os plastificantes ou mais modernamente, os super plastificantes, fundamentais para obtenção de concretos de alta resistência ($f_{ck} \geq 35$ MPa)

e) O Consumo de Cimento

Ao se desejar um concreto estrutural com resistências normais ($f_{ck} \geq 20$ MPa), deve-se tomar cuidado na contratação para entrega de concreto usinado, com o consumo de cimento por metro cúbico de concreto, pois em função do uso de plastificantes, consegue-se utilizar menos água, conseqüentemente se for mantido o fator água-cimento, poderá ser consumido menos cimento para a mesma quantidade de concreto. Com isto, pode-se comprometer outras características necessárias ao bom desempenho do material concreto. Uma imediatamente comprometida será a permeabilidade, que permitirá a infiltração de agentes externos que podem a médio prazo, agredir as armaduras com processos patológicos de corrosão instalando-se nos elementos estruturais. Deve-se sempre garantir um consumo mínimo de cimento por metro cúbico de concreto.

4 - A EXECUÇÃO DA CONCRETAGEM

O processo de concretagem é etapa importante, considerada a necessidade de boa qualidade de um produto final do concreto lançado. Os cuidados com a estanqueidade das formas, com a adequação do traço, com o controle tecnológico, com o tempo de concretagem, com o processo de lançamento, com o adensamento (vibração) e com os necessários cuidados com a cura, são fatores fundamentais na qualidade do produto final. Especificamente no caso dos pilares, elementos estruturais motivo principal deste trabalho, a altura de lançamento tem conseqüências nefastas com relação às características de capacidade de carga, homogeneidade, impermeabilidade e durabilidade, necessárias ao bom desempenho do elemento concretado. O comprometimento pode ser agravado, considerando que a densidade de armadura próxima à base do pilar tem praticamente o dobro da densidade de armadura do que aquela ao longo do restante da altura do pilar, considerando a existência da região de emendas (esperas).

5 - AGRESSIVIDADE DO MEIO AMBIENTE

A Norma Brasileira – NBR 6118:2014, são previstas quatro classes de agressividade ambientais, conforme o citado documento normativo. Por isto o ambiente onde está instalada a estrutura de concreto armado, tem uma grande influência sobre o processo de instalação de patologias em elementos estruturais de concreto armado. As classificações destes ambientes estão estabelecidas na Tabela 1 abaixo.

5.1 - Tabela 1 – Classes de agressividade ambiental – NBR 6118 (ABNT, 2014)^[1]

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
	I	Fraca	Rural Submersa
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a Industrial ^{a, b}	Grande
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c} Respingos de maré	Elevado

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

A partir da determinação da classe de agressividade ambiental, é possível determinar, a partir da Tabela 2, a relação água/cimento máxima e a classe de resistência do concreto.

5.2 - Tabela 2 – Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto – NBR 6118 (ABNT, 2014)^[1]

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

6 – PATOLOGIA – CORROSÃO DAS ARMADURAS

Sem sombra de dúvidas, hoje no Brasil, a patologia que mais se manifesta em elementos estruturais de concreto armado é a Corrosão de Armaduras. Considerando os elementos pilares, a corrosão é mais preocupante ainda, levando-se em conta a importância destes elementos nos arranjos estruturais de nossos edifícios de múltiplos pavimentos.

6.1 – CORROSÃO DAS ARMADURAS

Corrosão de armaduras em estruturas de concreto armado, normalmente ocorrem por infiltração de umidade, onde a água contida na umidade oxida a barra de aço do interior das peças estruturais. Este tipo de corrosão é denominada de Corrosão por Oxidação, juntamente com a corrosão eletrolítica (oxirredução). Dentre os principais motivos está a permeabilidade da camada de proteção, que deveria com sua espessura de concreto, proteger as armaduras, pode não ter o necessário desempenho, ou ter sido de espessura insuficiente. Existem casos em que, mesmo com espessura adequada, a superfície de concreto se apresenta permeável, em função do traço utilizado para fabricação do concreto da obra. Esta permeabilidade do material concreto também pode ter consequência de corrosão que pode também manifestar-se na presença de gases, como por exemplo o gás carbônico (CO_2) emanado pelos chaminés das grandes indústrias, ou pelos escapamentos de veículos à combustão, propiciando também a corrosão das barras de aço agora por oxirredução. Também o cloro e os sulfatos, presentes estes na água de amassamento e nos ambientes marinhos e, aqueles, no ar poluído pelas indústrias nos grandes centros urbanos, propiciam a mesma patologia. Analisando os dados da Tabela 1 refletidos na Tabela 3, o ar marinho (edifícios no litoral) e os respingos de maré, juntamente com a poluição do ar, levam respectivamente à condições de risco grande e elevado, com classificação de grau de agressividade III (forte) e IV (muito forte).

6.2 - MECANISMO DE OCORRÊNCIA DE CORROSÃO ELETROLÍTICA

Analisando a Figura 1 do item 3.1 deste trabalho, percebe-se o mecanismo da ocorrência da corrosão eletrolítica de armaduras do concreto armado. Na citada figura, têm-se uma barra de aço no interior de um trecho de concreto curado. O meio concreto, por ser alcalino, serve com um eletrólito, condutor de elétrons do mineral ferro (+), de um trecho da barra denominado zona anódica (ânions), para um outro trecho da barra denominado zona catódica (cátions).

A zona catódica é assim caracterizada, pela presença do minério Fe, com elétrons carregados positivamente, que são atraídos pelo elétrons carregados negativamente por produtos que possam conter cloretos (produtos de limpeza e ar marinho), sulfatos (produtos de limpeza ou poluição do ar) ou gás carbônico (escapamentos de veículos). Este mecanismo provoca corrosão da armadura no trecho da barra denominada zona catódica, preservando os trechos que são denominados zonas anódicas.

6.3- DIAGNÓSTICO

Diagnosticar a patologia de corrosão de armaduras em pilares de concreto armado, significa perceber os sinais que caracterizam os indícios de sua presença. Os indícios é a presença de trincas na camada de cobertura no sentido vertical (Foto 01). Outro sintoma é o aparecimento de sinais de “ferrugem” nas superfícies laterais de pilares, marcando a posição dos estribos (armadura transversal) dos pilares.

Ao inspecionar mediante inspeção destrutiva, a ser feita de forma cuidadosa e inicialmente localizada, será confirmado ou não o diagnóstico (Foto 02). Em inspeções, não é difícil encontra a armadura transversal (estribos) totalmente rompidos na sua seção transversal, pela corrosão (Foto 03).



Foto 01



Foto 02



Foto 03

Fonte: Autor

6.4 – TERAPIA

O tratamento que deve ser dado para estas situações de manifestações patológicas de corrosão de armaduras, para que o elemento estrutural volte a proporcionar as condições iniciais para qual ele foi projetado.

6.4.1 – Materiais Utilizados

A técnica de recuperação do elemento estrutural afetado, utiliza materiais com características específicas, tais como:

- argamassas minerais ou poliméricas, anti-retráteis – para recomposição das superfícies do elemento, ou até para recomposição da camada de cobrimento ou eventual execução de reforço estrutural com aumento de seção transversal;
- produtos adesivos (que podem já estar incorporados nas argamassas);
- produtos passivadores de armadura (isolamento da armaduras que não permitem instalações de novo processo de corrosão eletrolítica).

6.4.2 – Procedimentos

Os procedimentos a serem adotados em processos de recuperação de elementos estruturais de concreto armado, devem ser feitos em etapas (normalmente faces), por profissional experiente e cuidadoso e, sem pressa. São eles:

- a) Retirada do revestimento de uma face, na região afetada do elemento estrutural;
- b) Delimitação da área de atuação mediante disco de corte;
- c) Retirada do concreto solto da área afetada;
- d) Liberação da armadura do concreto em seu contorno, em no mínimo 1,0cm em torno da mesma;
- e) Limpeza da armadura com escova de aço;
- f) Avaliação a redução da seção de aço fazendo a compensação ou reforço se necessário;
- g) Repassivação da armadura mediante pintura neutralizadora – duas de- mãos, com intervalos de 7 horas;
- h) Aplicação de ponte de aderência (ou utilização de argamassa adesiva);
- i) Reconstituição das superfícies mediante a utilização de argamassa anti-retrátil;
- j) Cuidados com a cura.

6.3 – PROTEÇÃO DAS ARMADURAS

A proteção das armaduras dos elementos estruturais de concreto armado é feita com camadas de cobrimento de concreto de boas características de impermeabilidade. A camada externa de concreto que protege a armadura é definida na NBR 6118:14, pela letra “c”, cujo valor depende da agressividade do meio ambiente e deve proteger as armaduras próximas das superfícies dos elementos.

De forma análoga, deve-se determinar o cobrimento mínimo nominal (Tabela 3), devendo este parâmetro ser estabelecido em projeto e utilizado como critério de aceitação da construção. Para garantir o cobrimento mínimo, o projeto deve considerar o cobrimento nominal, que é o cobrimento mínimo acrescido da tolerância de execução.

Em obras correntes, o valor do cobrimento nominal deve ser igual ou superior a 10(dez) milímetros, sendo que, quando houver um controle rígido de qualidade (do concreto e da execução), o valor do cobrimento nominal adotado pode ser de 5 (cinco) milímetros.

É importante ressaltar que o cobrimento mínimo sempre está referido à superfície externa da armadura, ou seja, geralmente, à face externa dos estribos.

Tabela 3 – Correspondência entre a classe de agressividade e o cobrimento nominal – NBR 6118 (ABNT, 2014) [1]

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os principais cuidados para garantir a durabilidade dos elementos das estruturas de concreto armado, durante a execução de seu projeto, é que o concreto possua especificações técnicas claras e que seja adequadamente dosado, obedecendo aos parâmetros de resistência mecânica e de durabilidade. Durante a execução da construção é importante que seja respeitado o cobrimento das armaduras, utilizando-se espaçadores com as dimensões adequadas.

As formas devem estar limpas, sem a presença de materiais contaminantes e impregnadas com agente desmoldante, sendo estanques para evitar perda da nata de cimento. É importante que as formas sejam molhadas antes da concretagem para evitar que esta absorva a água do concreto.

O concreto deve ser lançado e adensado corretamente, retirando-se o ar aprisionado e evitando-se “bicheiras” ou “nichos ou ninhos” de concretagem”. É importante que o concreto não seja lançado de alturas superiores a 2 (dois) metros, evitando-se, desta forma, segregação.

Após o período de endurecimento do concreto, é necessário que exista um plano de retirada de formas e cura adequada. A retirada inadequada das formas pode ocasionar problemas estéticos e de resistência mecânica do concreto. Neste sentido, as formas e escoramentos somente serão ser removidos, desde que o concreto tenha adquirido resistência suficiente para manter a sua forma, sem consequências de deformações longitudinais ou transversais, e em uma sequência que não introduza esforços adicionais no sistema, como por exemplo, impacto por cargas dinâmicas oriundas de deformações naturais contidas equivocadamente por escoras não retiradas na sequência adequada.

Resumidamente, concretos adequados e duráveis, protegem as armaduras do seu interior, da agressividade dos ambientes externos agressivos. É provável que alguns dos recentes colapsos de edificações no mundo, com estruturas de concreto armado, não tivessem ocorridos, se fossem tomados os cuidados necessários nos seus processos de execução e de manutenção.

8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- [2] HELENE, Paulo R.L. **Manual Prático para Reparo e Reforço de Estruturas Concreto**. São Paulo: Pini, 1988.
- [3] SOUZA, Vicente Custódio; RIPPER, Thomaz. **Patologia, Recuperação de Estrutura de Concreto**. São Paulo: Pini.